新疆野果林灌木物种多样性与生态位研究

吴明江[1]， 邱 娟[2]， 郑 凤[1]， 凌孝波[1]， 王新宇[1]，
杨 洋[1]， 杨佳鑫[1]， 刘立强[1]

（1. 新疆农业大学园艺学院，新疆 乌鲁木齐 830052；2. 新疆农业大学生命科学学院，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要： 灌木是新疆野果林森林群落结构的重要组成部分，对于维持生态系统多样性及其功能具有重要作用。以交吾托海、杏花沟、莫乎尔、大西沟4个野果林居群的灌木群落为研究对象，通过样地（林下、林窗、空地）和样线（样地与样地间、野果林分布的海拔上下线）调查法，探究灌木物种多样性和生态位。结果表明：(1) 在野果林共发现18科26属110种灌木，其中蔷薇科、蔷薇属和枸子属是野果林内的优势科属，科和属的分布区类型主要以世界广布和温带分布为主；重要值占比较大的是小檗属（黑果小檗）、忍冬属（小叶忍冬、新疆忍冬）和蔷薇属（弯刺蔷薇、疏花蔷薇）；各野果林居群内不同生境的灌木多样性系数无显著差异，从大西沟、莫乎尔、交吾托海至杏花沟，各居群的灌木多样性系数逐渐减小；(2) 交吾托海与莫乎尔的黑果小檗及杏花沟的小叶忍冬的生态位宽度最大，大西沟的黑果小檗的Levins生态位宽度和金丝桃叶绣线菊的Shannon-Winner生态位宽度最大，这些物种分布最广，资源利用与环境适应能力较强；野果林内生态位重叠指数<0.5种对占总种对的50%以上，对环境资源利用的相似性较低，种间竞争较弱；交吾托海、莫乎尔灌木总体呈不显著负联结，杏花沟、大西沟灌木总体呈不显著正联结，其均处于不稳定的演替前期。新疆野果林的灌木物种组成较为丰富，不同野果林居群的灌木物种组成及其多样性有显著差异，灌木种群处于不稳定阶段，这与野果林生态系统的整体功能密切相关。

关键词： 灌木；多样性；植物区系；生态位；野果林；新疆

物种多样性是群落内物种组成与数量水平的体现[1]，是反映生态系统群落结构复杂性、群落特征及其变化演替规律的重要特征[2]；生态位理论是一定空间内物种分布数量及分布水平的体现，反映了物种之间、物种与环境之间的共存关系[3]。物种共存和生物多样性维持，已成为研究植物群落内物种共存、进化、演替和种间竞争等生态学内容的基本理论[4-5]。植物群落的物种多样性与生态位特征是由多种因素综合作用的结果，可解释该群落的构建机制和生态系统平衡状况[6]。例如广西大石围天坑群的草本层，在初期、中期、后期生态分化明显，群落结构稳定，后期的植物多样性较为丰富[7]；乌兰布和沙漠灌木群落结构及其物种间处于稳定的共存状态，沙冬青群落多样性水平最高[3]；游荡型黄河滩涂大堤物种多样性最高，嫩滩次之，高滩多样性最低，生态系统总体趋于不稳定状态，多数优势种的种间联结性和相关性不强，趋于相对独立[8]；小兴安岭刺五加群落植物区系不稳定，原因为该区系主要以特大属为主（51属，占比68.49%），大属、中属、小属数量较小，且属数分布不均[9]；宽阔水自然保护区植物区系以暖温带为主，以中国特有分布属占比较大，这反映了该区相对稳定的植物群落[10]。植物群落内物种多样性和生态位特征研究，有助于揭示物种的生存现状与相互关系，掌握生态系统现状和服务功能水平，为资源利用和保护提供科学的理论依据。

新疆野果林是由乔灌草的群落结构与森林草原镶嵌体组成的温带落叶阔叶林生态系统，邻接农

收稿日期： 2024-07-09； **修订日期：** 2024-08-30
基金项目： 第三次新疆综合科学考察项目（2021xjkk0501，2022xjkk1505）；新疆天然林保护修复资金项目；农业农村部政府购买服务项目（125A0605）
作者简介： 吴明江（1999-），男，硕士研究生，主要从事果树生态学研究. E-mail: 17854560591@163.com
通讯作者： 刘立强. E-mail: llq9989@126.com

2094－2109页

牧聚居地向山内分布,在当地具有重要的农牧旅的生态与经济地位。灌木是该生态系统的重要组成部分,物种具有耐寒、耐旱、耐贫瘠的适应性,在野果林内广泛分布,发挥着稳定群落、涵养水源、维持多样性、防风固沙、保持水土等生态功能,物种角色与地位至关重要。一直以来,天山野果林生态系统与多样性的形成,都是国内外植物学、生态学、园艺学等领域的热点研究方向,尤其是对关键果树资源乔木物种的多样性[11]、种群更新[12]、病虫害[13]、群落结构[14]等方面有较多研究,而对灌木的研究多是局限在单个物种的生物学特性[15]、繁殖特性[16]等方面,缺乏从灌木多样性、区系和生态位等多层面的综合研究,对其生态地位和功能作用的了解还不够深入。当前,在野果林受到环境、生物和人为活动等多重因素扰动胁迫的背景下,本文通过对野果林灌木多样性、植物区系和生态位特征开展研究,分析灌木物种多样性水平及其结构稳定性,掌握野果林灌木生存现状和对资源的利用能力,从灌木层角度为野果林植物多样性与资源保护利用研究提供理论参考。

1 研究区概况

新疆野果林主要分布在伊犁地区,位于42°40′~44°30′N、80°30′~84°00′E之间,海拔在1000~1800 m之间,是中亚天山野果林的重要组成部分;气候为温带大陆性气候,年均降水量在600 mm以上,年平均气温为10.4 ℃,日照时长为2532~2722 h,年均积温2700~3500 ℃,春季温暖湿润,夏季凉爽,冬季积雪深厚,分布区“逆温层”的气候条件降低了野生果树在冬季遭受冻害的风险[17-18],土壤类型以黑钙土为主,腐殖质较厚,质地结构良好,土壤肥力较高[19]。野果林关键乔木树种既可混交林分布,也可以新疆野苹果(*Mauls sieversii*)和野杏(*Prunus armeniaca*)纯林生存,且分布环境多样性较高。为了全面覆盖野果林群落结构与地理分布特征,本文选择分布集中且面积广泛的新源县阿勒玛勒镇交吾托海和吐尔根乡杏花沟野果林、霍城县大西沟乡野果林、巩留县莫乎尔野果林作为研究区域。大西沟野果林分布于南北走向两侧山地,是以野杏、准噶尔山楂(*Crataegus songorica*)、樱桃李(*Prunus cerasifera*)、新疆野苹果为主的混交野果林,稀生辽宁山楂(*Crataegus sanguinea*)、阿尔泰山楂(*Crataegus altaica*)、稠李(*Prunus padus*)等乔木果树;莫乎尔野果林主要由东沟、中沟、西沟组成,野果林分布于两侧山地,由下游野杏纯林开始向上游分布,逐渐中后段转变为新疆野苹果纯林;交吾托海野果林分布于巩乃斯河北岸那拉提山北麓,为新疆野苹果纯林,稀生野杏、阿尔泰山楂、辽宁山楂、稠李等野生果树;杏花沟新疆野杏纯林分布于巩乃斯河阿吾拉勒山南麓,为该种群典型分布区域,海拔跨度较大,野杏分布海拔上限达1700 m。

2 研究方法

2.1 样地调查

在充分踏查野果林集中分布区域的基础上,选择新源县交吾托海(JWTH)和杏花沟(XHG)、巩留县莫乎尔(MHE)和霍城县大西沟(DXG)野果林灌木分布的典型区域,设置林下(LX)、林窗(LC)、林中空地(以下简称“空地”,KD)3种类型的灌木多样性调查样地。其中林下样地大小为20 m×20 m;林窗是指林分中因自然或者人为因素造成林冠乔木死亡以及无林冠层建成而形成的林中空隙[20],林窗样地的设置参考石荡等[21]对野果林野杏幼苗林窗样地的设置方法,即林窗边缘木平均树高(H=7 m)与林窗直径(D)比值来确定(D/H=0.49~3.49),林窗面积为13~600 m^2,大于林窗面积的为空地,使用GPS测量林窗、空地边缘木围成的面积,由于林窗和空地面积存在不确定性,因此,需要将其划分为400 m^{2}的标准样地进行计算。在各居群内每种生境各设置3块样地,每个居群共设置9块样地,4个居群共设置36块样地。使用GPS测量样地的经纬度和海拔,罗盘仪测量坡度、坡向;调查每块样地内出现的灌木物种、数量;用测高仪测量株高(灌丛最高处到地面的垂直距离);用卷尺测量东西和南北冠幅,参照椭圆面积计算平均冠幅。每个居群内灌木物种调查,包括样地内(样地法)、样地边界向外扩大50 m范围内、样地与样地间、野果林分布的海拔上下限(样线法)灌木物种的调查,用于分析灌木物种组成及植物区系,以样地灌木物种分析其重要值、多样性与生态位。样地信息如表1所示。

2.2 新疆野果林灌木植物区系划分

通过样地调查、标本采集和查阅相关文献《新疆植物志》《中国植物志》、中国数字标本馆(https://

表1 样地信息概况

Tab. 1 Overview of plot information

野果林居群	生境	编号	经度	纬度	海拔/m	坡度/(°)	坡向
交吾托海JWTH	林下LX	LX-1	83°36′25.71″E	43°22′35.49″N	1473.7	26	西北322°
		LX-2	83°33′56.12″E	43°22′24.41″N	1440.5	20	西北322°
		LX-3	83°33′48.59″E	43°22′17.69″N	1459.8	17	西北318°
	林窗LC	LC-1	83°36′21.73″E	43°22′37.14″N	1446.7	20	北34°
		LC-2	83°36′25.22″E	43°22′33.83″N	1490.1	22	北20°
		LC-3	83°35′50.52″E	43°22′40.52″N	1395.2	15	北13°
	空地KD	KD-1	83°36′20.90″E	43°22′35.92″N	1446.0	24	北345°
		KD-2	83°36′03.07″E	43°22′37.76″N	1420.7	16	北355°
		KD-3	83°34′58.76″E	43°22′36.76″N	1392.1	15	东北25°
杏花沟XHG	林下LX	LX-1	83°26′14.58″E	43°32′24.99″N	1138.0	31	东北54°
		LX-2	83°26′04.13″E	43°32′56.92″N	1326.5	29	东南154°
		LX-3	83°26′18.58″E	43°23′45.05″N	1243.1	20	西南213°
	林窗LC	LC-1	83°26′04.30″E	43°32′59.22″N	1352.0	35	东107°
		LC-2	83°26′19.21″E	43°32′36.39″N	1138.5	8	东108°
		LC-3	83°25′57.22″E	43°33′13.23″N	1568.5	42	东74°
	空地KD	KD-1	83°26′22.25″E	43°32′50.53″N	1291.5	22	南154°
		KD-2	83°26′21.93″E	43°32′54.09″N	1253.2	34	北307°
		KD-3	83°25′56.84″E	43°33′10.84″N	1535.0	37	东南138°
莫乎尔MHE	林下LX	LX-1	82°43′13.77″E	43°12′09.82″N	1369.7	15	东81°
		LX-2	82°43′33.43″E	43°12′08.87″N	1317.1	28	西北296°
		LX-3	82°44′19.49″E	43°14′03.57″N	1261.0	23	北22°
	林窗LC	LC-1	82°43′33.19″E	43°12′08.28″N	1315.1	26	西南243°
		LC-2	82°44′09.85″E	43°14′02.99″N	1322.5	15	西南234°
		LC-3	82°45′16.93″E	43°13′20.79″N	1242.2	25	东北57°
	空地KD	KD-1	82°43′13.33″E	43°12′29.28″N	1325.4	21	东83°
		KD-2	82°43′39.12″E	43°14′15.33″N	1330.2	16	东北25°
		KD-3	82°45′25.44″E	43°13′87.20″N	1306.2	24	东北36°
大西沟DXG	林下LX	LX-1	80°46′49.10″E	44°26′12.75″N	1230.2	19	南182°
		LX-2	82°45′17.19″E	44°25′50.41″N	1160.1	26	南153°
		LX-3	80°46′19.63″E	44.26°39.90′″N	1253.9	27	西南205°
	林窗LC	LC-1	80°46′99.66″E	44°26′13.06″N	1243.1	21	南180°
		LC-2	80°46′38.51″E	44°25′56.95″N	1171.3	22	南183°
		LC-3	80°46′42.35″E	44°25′55.13″N	1166.9	22	西南211°
	空地KD	KD-1	80°46′38.19″E	44°25′51.66″N	1187.6	29	东102°
		KD-2	80°46′36.23″E	44°25′49.46″N	1202.2	34	东96°
		KD-3	80°47′35.33″E	44°26′01.10″N	1246.0	24	东南119°

www.cvh.ac.cn/index.php)、植物智(http://www.iplant.cn)等,对调查和查阅得到的新疆野果林灌木植物数据进行整理,编制《野果林灌木名录》,其中科的分布区类型划分依据文献[22],属的分布区类型依据文献[23]进行划分,并统计新疆野果林灌木植物科、属的分布区类型。

2.3 新疆野果林灌木重要值计算

为了反映每个灌木物种在野果林物种多样性中的重要性及其优势度,对其重要值进行计算,公式如下:

$$IV = \frac{RA + RD + RF}{3} \times 100\% \qquad (1)$$

式中:IV 表示灌木重要值;RA 表示灌木在样方内的相对多度;RD 表示灌木的相对优势度;RF 表示灌木的相对频度。

优势种的确定参考王国宏等[24]的方法,以75%为确定灌木层优势物种的阈值;重要值≥75%的灌木物种,可以确定为灌木层的单优势种,其他物种

为灌木层伴生种；重要值在10%~75%之间存在多个灌木物种，如果差值不超过10%，可将其确定为共优势种。

2.4 新疆野果林灌木多样性指数计算

为了充分评价野果林灌木层的组成和结构，需用以下指数进行计算：

（1）Margalef丰富度指数：

$$M = \frac{(S-1)}{\ln N} \tag{2}$$

（2）Shannon-Wiener多样性指数：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i \tag{3}$$

（3）Simpson优势度指数：

$$D = \sum_{i=1}^{S} \left(n_i / N\right)^2 \tag{4}$$

（4）Pielou均匀度指数：

$$F = \frac{S-1}{\ln N} \tag{5}$$

式中：S 为调查样方内所有的物种数量。P_i 为调查样方内物种 i 的相对多度，即 $P_i = n_i / N$；n_i 为调查样方内物种 i 的个体数；N 为调查样方内所有物种的总个体数。

2.5 新疆野果林灌木生态位计算

灌木物种的生态位可有效反映其对资源的利用水平、相似性以及演替阶段，因此，采用生态位宽度、生态位重叠、总体联结性这3个指标分析新疆野果林灌木层的生态位特征。

（1）生态位宽度，采用Shannon-Winner指数和Levins指数来测定灌木和野生果树更新层的生态位宽度。

Shannon-Winner生态位宽度计算公式为:

$$B_S = -\sum_{j=1}^{r} (P_{ij} \ln P_{ij}) \tag{6}$$

式中：$P_{ij} = n_{ij} / Y_i$，$Y_i = \sum_{i=1}^{r} n_{ij}$。

Levins生态位宽度计算公式为：

$$B_L = 1 \Big/ \sum_{j=1}^{r} P_{ij}^2 \tag{7}$$

式中：B_S 和 B_L 分别为物种种群的Shannon-Winner生态位宽度和Levins生态位宽度；r 为环境中资源的维数，即样方数；P_{ij} 为物种 i 利用第 j 个样方占他利用所有的样方的比例；n_{ij} 为物种 i 在第 j 个样方中的重要值；Y_i 为物种 i 所在所有的样方的重要值的加和。

（2）采用Pinka指数计算生态位重叠程度，生态位重叠计算公式如下：

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{r} P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^{r} P_{ij}^2\right)\left(\sum_{j=1}^{r} P_{kj}^2\right)}} \tag{8}$$

式中：O_{ik} 为物种 i 和物种 k 的生态位重叠值；P_{ij} 和 P_{kj} 分别为物种 i 和物种 k 在样方 j 内的重要值。

（3）总体联结性检验采用方差比率法，计算公式如下：

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \left(T_j - t\right) \tag{9}$$

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^{S} \frac{n_i}{N} \left(1 - \frac{n_i}{N}\right) \tag{10}$$

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} \tag{11}$$

$$W = VR \times N \tag{12}$$

式中：T_j 为样方 j 内出现的物种数；N 为总的样方数；t 为样方物种平均数；S 为所有物种总数；n_i 为物种 i 出现的样方数；S_T^2 为样方中物种的方差；δ_T^2 为所有物种出现的频度方差。当 VR =1时，灌木层物种间无关联；VR <1时，灌木物种间总体呈负关联；VR >1时，灌木物种间总体呈正关联。采用统计变量 W 来检验偏离1的显著，当 $\chi_{0.95}^2 9 < W < \chi_{0.05}^2 9$ (3.325< W <16.92)时，表示灌木物种间无显著关联；反之则是显著关联。

2.6 数据处理

灌木植物区系的分析包括野外调查到的物种和文献查阅到的物种；灌木重要值、多样性系数和生态位根据在样方内实际调查到的物种和数量进行计算。将野外调查到的数据统计到Excel 2019中，计算得出灌木重要值、多样性系数，其中灌木多样性系数用Origin 2021进行单因素方差分析、差异比较和制图；生态位指标的计算，运用R 4.3.1中的spaa包计算生态位宽度、生态位重叠和总体联结性。文中所有数据均为“均值±标准误”。

3 结果与分析

3.1 灌木多样性分析

3.1.1 野果林灌木物种组成及植物区系 新疆野果林植物灌木物种组成较为复杂，不同科所含属的数

量和不同属所含种的数量存在一定差异。本次共发现新疆野果林内灌木植物共18科26属110种，其中野外调查共发现48种，通过文献查阅到62种（表2）。科内所含1属的科占比为83.33%，共15科15属；11.11%的科含有2属，共2科4属；仅有蔷薇科超过3属（7属），占比5.56%。根据属内所含种的数量，将其划分为3个等级，即所含1~3种的有16属，占总属数的61.54%，共33种灌木；所含4~6种的有4属，占总属数的15.38%，共22种灌木；所含7种及以上的有6属，占总属数的23.08%，有56种灌木，其中蔷薇属和栒子属所包含灌木物种最多，均为11种。

新疆野果林内18科的灌木物种，可划分为4个分布区类型和3个变型（表3），可将其归为世界分布、热带分布和温带分布3类。世界广布类型有8科，占总科数的44.44%；热带分布共有3科，占总科数的16.67%，分别是泛热带分布的卫矛科（Celastraceae）、蒺藜科（Zygophyllaceae）和南非（主要是好望角）分布的杜鹃花科（Ericaceae）；温带成分有7科，占总科数的38.89%，其中北温带广布有1科、北温带和南温带间断分布3科、欧亚和南美洲温带间断有2科、旧世界温带有1科。从科的分布类型来看，世界广布型和温带分布型在野果林灌木植物中占据主导地位，并且与热带分布型具有一定的联系。

新疆野果林内26个属的灌木植物，可划分为5个分布区类型和5个变型（表4），可将其归为世界分布和温带分布两类。其中世界广布有3属，占总属数的11.54%；温带分布共有4个分布区类型和5个变型，占总属数的88.46%，其中北温带分布类型、北温带和南温带间断（泛温带）类型两种占比较大，分别有6属、7属（分别占比23.08%、26.92%），代表属分别有蔷薇属（*Ribes*）和茶藨子属（*Ribes*）；北极-高山、地中海、西亚（或中亚）和东亚间断、温带亚洲分布、地中海至温带-亚热带、大洋洲和南美洲间断和中亚分布这5种分布区类型，各分布区内仅含有1属，分别占比3.85%。从属的分布区类型来看，新疆野果林灌木植物属的分布主要以温带成分为主，并带有一小部分含世界分布成分在内，表明其属的分布区类型带有明显的温带特征，符合其所处的北温带地域特征。

3.1.2 4个野果林居群灌木物种重要值分析 由表5可知，JWTH野果林，黑果小檗、矮小忍冬、弯刺蔷薇、小叶忍冬是居群的共优势种；林下生境中，黑果小檗所占重要值最大，为11.28%；林窗生境中，矮小忍冬所占重要值最大，为18.65%；空地生境中，弯刺蔷薇所占重要值最大，为16.70%。XHG野果林，沙

表2 新疆野果林灌木科、属的组成

Tab. 2 The composition of shrub families and genera in Xinjiang wild fruit forest

所含属数	科数	百分比	所含种数	属数	百分比/%
含有1属的科	15	83.33	含有1~3种的属	16	61.54
含有2属的科	2	11.11	含有4~6种的属	4	15.38
含有3属及以上的科	1	5.56	含7种及以上的属	6	23.08
合计	18	100.00	合计	26	100.00

表3 野果林灌木植物科的分布区类型

Tab. 3 The areal-types of shrub family in wild fruit forest

区系组	类型及变型	科数	占比/%
世界分布	1. 世界广布	8科（毛茛科 Ranunculaceae、虎耳草科 Saxifragaceae、蔷薇科 Rosaceae、豆科 Leguminosae、鼠李科 Rhamnaceae、白花丹科 Plumbaginaceae、蓼科 Polygonaceae、茄科 Solanaceae）	44.44
热带成分	2. 泛热带（热带广布）	2科（卫矛科 Celastraceae、蒺藜科 Zygophyllaceae）	11.11
	(6d)南非（主要是好望角）	1科（杜鹃花科 Ericaceae）	5.56
温带成分	8. 北温带广布	1科（忍冬科 Caprifoliaceae）	5.56
	8-4. 北温带和南温带间断分布	3科（杨柳科 Salicaceae、槭树科 Aceraceae、胡颓子科 Elaeagnaceae）	16.66
	8-5. 欧亚和南美洲温带间断	2科（麻黄科 Ephedraceae、小檗科 Berberidaceae）	11.11
	10. 旧世界温带	1科（柽柳科 Tamaricaceae）	5.56
合计	-	18科	100.00

表4 野果林灌木植物属的分布区类型

Tab. 4 The areal-types of shrub genera in wild fruit forest

区系组	类型及变型	属数	占比/%
世界分布	1. 世界分布	3属(铁线莲属 *Clematis*、悬钩子属 *Rubus*、鼠李属 *Rhamnus*)	11.54
	8. 北温带分布	6属(山楂属 *Crataegus*、蔷薇属 *Rosa*、花楸属 *Sorbus*、绣线菊属 *Spiraea*、忍冬属 *Lonicera*、荚蒾属 *Viburnum*)	23.08
	8-2. 北极-高山	1属(北极果属 *Arctous*)	3.85
	8-4. 北温带和南温带间断(泛温带)	7属(李属 *Prunus*、柳属 *Salix*、茶藨子属 *Ribes*、卫矛属 *Euonymus*、槭属 *Acer*、萹蓄属 *Polygonum*、枸杞属 *Lycium*)	26.90
温带成分	8-5. 欧亚和南温带间断	2属(小檗属 *Berberis*、麻黄属 *Ephedra*)	7.69
	10. 旧世界温带分布	3属(栒子属 *Cotoneaster*、水柏枝属 *Myricaria*、沙棘属 *Hippophae*)	11.54
	10-1. 地中海、西亚(或中亚)和东亚间断	1属(木蓼属 *Atraphaxis*)	3.85
	11. 温带亚洲分布	1属(锦鸡儿属 *Caragana*)	3.85
	12-3. 地中海至温带-亚热带、大洋洲和南美洲间断	1属(白刺属 *Nitraria*)	3.85
	13. 中亚分布	1属(伊犁花属 *Ikonnikovia*)	3.85
合计	-	26属	100.00

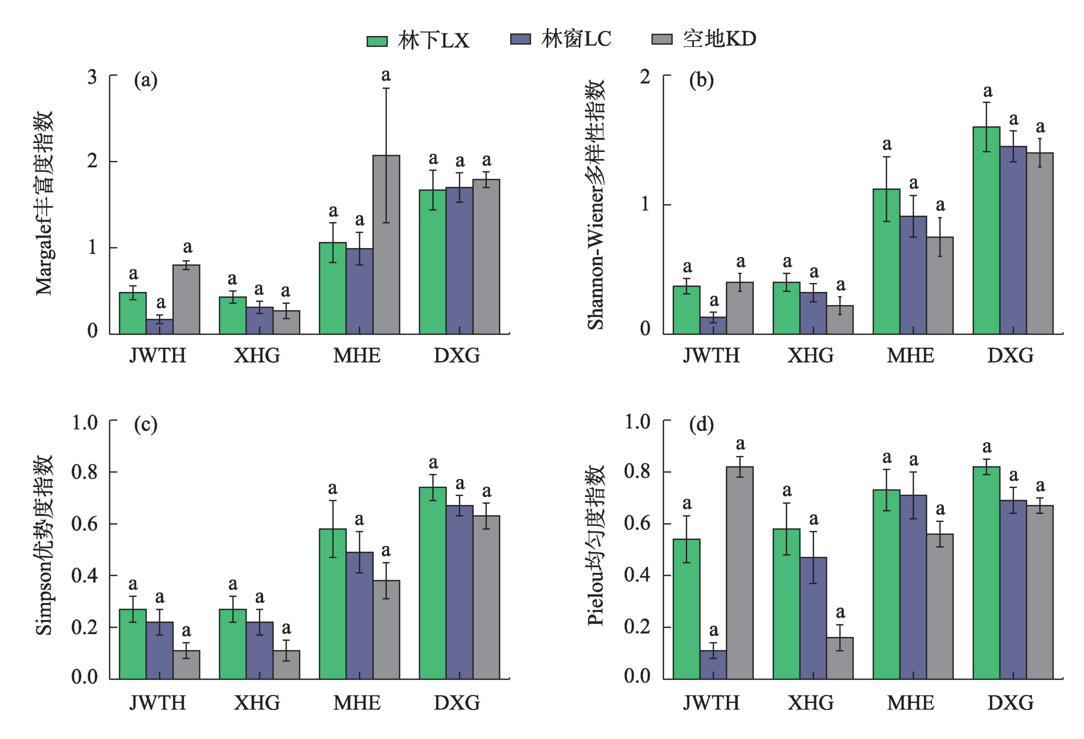
表5 野果林各居群灌木物种重要值

Tab. 5 Important value of shrub species in each population of wild fruit forest

物种	交吾托海JWTH				杏花沟XHG				莫乎尔MHE				大西沟DXG			
	林下 LX	林窗 LC	空地 KD	居群	林下 LX	林窗 LC	空地 KD	居群	林下 LX	林窗 LC	空地 KD	居群	林下 LX	林窗 LC	空地 KD	居群
黑果小檗 *Berberis atrocarpa*	11.28	6.00	11.32	28.60	–	–	–	–	14.05	16.73	10.19	40.97	9.66	7.29	4.54	21.49
小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	5.87	10.56	3.53	19.96	8.93	3.23	10.71	22.88	–	–	2.03	2.03	1.73	0.66	1.85	4.24
矮小忍冬 *Lonicera humilis*	–	18.65	3.49	22.14	4.71	2.97	3.51	11.19	1.25	–	1.79	3.04	–	–	–	–
新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	–	–	–	–	–	–	5.79	5.79	1.89	1.23	12.32	15.44	2.57	–	1.41	3.98
弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	–	2.59	16.70	20.23	–	–	–	–	4.90	4.70	3.53	13.13	0.91	1.20	–	2.11
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	–	–	3.54	2.59	3.42	–	–	3.42	5.10	2.64	–	7.74	2.06	2.36	1.43	5.85
密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.05	1.05	–	–	1.92	1.92
宽刺蔷薇 *Rosa platyacantha*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.66	–	0.66
腺毛蔷薇 *Rosa fedtschenkoana*	–	–	–	–	–	–	–	–	1.37	–	–	1.37	–	–	–	–
樱桃李 *Prunus cerasifera*	6.48	–	–	6.48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.19	2.75	3.94
准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	–	–	–	–	–	–	–	–	1.81	1.74	1.09	4.62	1.30	1.13	0.94	3.37
水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	–	–	–	–	–	–	–	–	1.58	–	–	1.58	0.70	–	0.67	1.37
药鼠李 *Rhamnus cathartica*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3.13	2.26	–	5.39
天山樱桃 *Prunus tianshanica*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.21	5.41	6.62
金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.42	1.07	2.50	3.65	8.57	17.65	29.88
黄刺条 *Caragana frutex*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.23	2.77	4.18	9.18
沙棘 *Hippophae rhamnoides*	–	–	–	–	–	26.52	26.52	53.04	–	–	–	–	–	–	–	–
欧洲木莓 *Rubus caesius*	–	–	–	–	–	3.68	–	3.68	–	–	–	–	–	–	–	–
铁线莲 *Clematis florida*	–	–	–	–	–	–	–	–	4.01	–	2.52	6.53	–	–	–	–
和值	23.63	37.80	38.57	100.00	17.06	36.40	46.54	100.00	35.95	28.46	35.59	100.00	27.95	29.30	42.75	100.00

棘是该居群的优势种,重要值为53.03%,其主要分布在林窗、空地生境中。MHE野果林优势种为黑果小檗,在林下、林窗、空地3种生境中均有分布,且重要值均超过10%。金丝桃叶绣线菊和黑果小檗是DXG野果林的共优势种,其重要值在3种生境中均在前列,两者是该居群灌木层的重要组成部分。新疆野果林空地、林窗、林下灌木物种重要值表现为由大至小的变化规律。

3.1.3 4个野果林居群灌木物种多样性比较 4个野果林居群不同生境中的灌木物种的Margalef丰富度指数、Shannon-Winer多样性指数、Simpson优势度指数、Pielou均匀度指数均无显著差异(图1),物种多



注：不同小写字母表示不同生境灌木多样性指数存在显著差异($P<0.05$)。

图1 4个野果林居群不同生境多样性指数

Fig. 1 Four different habitat diversity coefficients of wild fruit forest communities

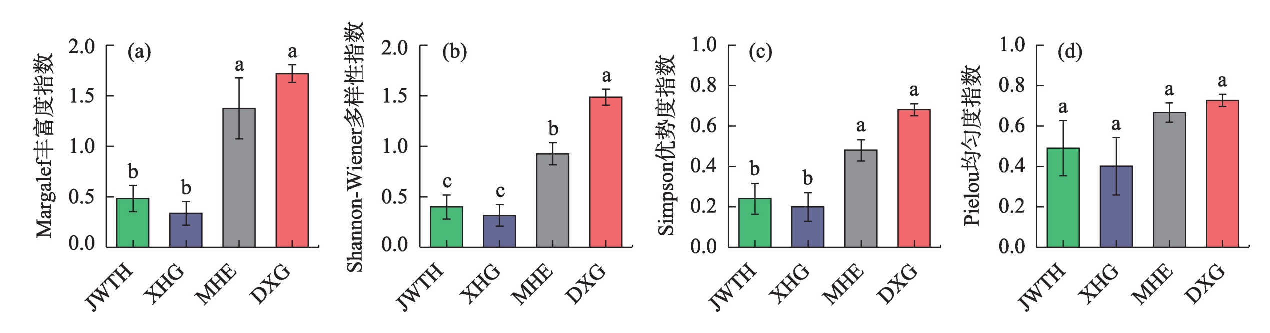
样性无显著差异。

由图2可知，野果林居群间仅有Pielou指数无显著差异，而Margalef、Shannon-Winer和Simpson指数有显著差异，其中Margalef与Simpson指数表现为DXG>MHE>JWTH>XHG；Shannon-Winer指数表现为DXG显著大于其他3个居群，MHE显著大于JWTH和XHG。不同野果林居群灌木物种多样性从DXG至MHE、JWTH、XHG多样性水平逐渐降低，DXG灌木物种最丰富，多样性水平最高，且分布均匀；XHG反之。

3.2 新疆野果林灌木生态位分析

3.2.1 生态位宽度 由表6可知，各野果林居群的灌木群落 B_L 和 B_S 生态位宽度变化范围有所不同，JWTH黑果小檗的最大，疏花蔷薇最小；XHG小叶忍冬的生态位宽度最大，新疆忍冬、疏花蔷薇、欧洲木莓最小；MHE黑果小檗占生态位宽度最大，小叶忍冬、密刺蔷薇、腺毛蔷薇、水栒子最小；DXG黑果小檗和金丝桃叶绣线菊的最大，密刺蔷薇、宽刺蔷薇最小。由DXG至JWTH、MHE、XHG居群，其生态位逐渐降低，生态位宽度变化基本一致，呈正向关联。

3.2.2 生态位重叠 由表7~表10可知，在4个野果林居群中，由灌木分别组成了15对、15对、66对、91对种对，生态位重叠(O_{ik})的阈值分别为0.00~0.86、0.00~0.71、0.00~1.00、0.00~0.91，O_{ik} 均值分别为0.18、0.1.8、0.29、0.42。其中存在生态位重叠($O_{ik}>0$)的种对分别有7对、5对、44对、82对，分别占总对数的



注：不同小写字母表示不同居群灌木多样性指数存在显著差异($P<0.05$)。

图2 4个野果林居群的灌木多样性指数

Fig. 2 Four shrub diversity coefficients of wild fruit forest communities

表6 4个野果林居群灌木生态位宽度

Tab. 6 Shrub niche breadth of four wild fruit forest communities

野果林居群	交吾托海 JWTH		杏花沟 XHG		莫乎尔 MHE		大西沟 DXG	
	B_L	B_S	B_L	B_S	B_L	B_S	B_L	B_S
黑果小檗 *Berberis atrocarpa*	4.57	1.63	–	–	5.32	1.83	6.81	2.01
小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	2.78	1.06	3.10	1.24	1.00	0.00	4.17	1.59
矮小忍冬 *Lonicera humilis*	1.09	0.18	2.33	0.96	1.80	0.64	–	–
新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	–	–	1.00	0.00	1.40	0.54	3.85	1.47
弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	2.45	0.99			2.47	1.24	5.05	1.69
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	1.00	0.00	1.00	0.00	2.35	1.01	5.05	1.69
密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	–	–	–	–	1.00	0.00	1.00	0.00
宽刺蔷薇 *Rosa platyacantha*	–	–	–	–	–	–	1.00	0.00
腺毛蔷薇 *Rosa fedtschenkoana*	–	–	–	–	1.00	0.00	–	–
樱桃李 *Prunus cerasifera*	1.80	0.64	–	–	–	–	4.8	1.59
准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	–	–	–	–	2.33	0.96	4.26	1.52
水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	–	–	–	–	1.00	0.00	1.6	0.56
药鼠李 *Rhamnus cathartica*	–	–	–	–	–	–	3.05	1.28
天山樱桃 *Prunus tianshanica*	–	–	–	–	–	–	2.84	1.29
金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*	–	–	–	–	1.60	0.56	6.79	2.03
黄刺条 *Caragana frutex*	–	–	–	–	–	–	3.91	1.76
沙棘 *Hippophae rhamnoides*	–	–	2.00	0.69	–	–	–	–
欧洲木莓 *Rubus caesius*	–	–	1.00	0.00	–	–	–	–
铁线莲 *Clematis florida*	–	–	–	–	4.45	1.55	–	–
平均	2.28	0.75	1.74	0.48	2.14	0.69	3.71	1.28

表7 交吾托海野果林居群灌木生态位重叠指数

Tab. 7 Shrub niche overlap index of JWTH wild fruit forest community

物种	黑果小檗 *Berberis atrocarpa*	小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	矮小忍冬 *Lonicera humilis*	弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	疏花蔷薇 *Rosa laxa*
小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	0.22				
矮小忍冬 *Lonicera humilis*	0.52	0.02			
弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	0.26	0.00	0.43		
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	0.00	0.00	0.00	0.86	
樱桃李 *Prunus cerasifera*	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00

表8 杏花沟野果林居群灌木生态位重叠指数

Tab. 8 Shrub niche overlap index of XHG wild fruit forest community

物种	小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	矮小忍冬 *Lonicera humilis*	新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	疏花蔷薇 *Rosa laxa*	沙棘 *Hippophae rhamnoides*
矮小忍冬 *Lonicera humilis*	0.66				
新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	0.00	0.00			
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	0.48	0.00	0.00		
沙棘 *Hippophae rhamnoides*	0.57	0.31	0.00	0.71	
欧洲木莓 *Rubus caesius*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71

46.67%、33.33%、66.67%、90.11%；生态位不重叠(O_{ik}=0)种对分别有8对、10对、22对、9对，分别占总对数的53.33%、66.67%、33.33%、9.89%；生态位重叠较小(0<O_{ik}≤0.5)的种对分别有5对、2对、24对、

表 9　莫乎尔野果林居群灌木生态位重叠指数

Tab. 9　Shrub niche overlap index of MHE wild fruit forest community

物种	黑果小檗 *Berberis atrocarpa*	小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	矮小忍冬 *Lonicera humilis*	新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	疏花蔷薇 *Rosa laxa*	腺毛蔷薇 *Rosa fedtschenkoana*	密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*
小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	0.06										
矮小忍冬 *Lonicera humilis*	0.02	0.63									
新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	0.02	0.70	0.95								
弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	0.62	0.22	0.23	0.27							
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	0.43	0.00	0.38	0.12	0.01						
腺毛蔷薇 *Rosa fedtschenkoana*	0.57	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00					
密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	0.65	0.15	0.00	0.00	0.86	0.04	0.87	0.00			
水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	0.57	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	1.00	0.00	0.87		
金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*	0.28	0.22	0.28	0.31	0.13	0.08	0.00	0.00	0.41	0.00	
铁线莲 *Clematis florida*	0.62	0.21	0.54	0.38	0.65	0.67	0.60	0.30	0.53	0.60	0.10

表 10 大西沟野果林居群灌木生态位重叠指数

Tab. 10 Shrub niche overlap index of DXG wild fruit forest community

物种	黑果小檗 *Berberis atrocarpa*	小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	疏花蔷薇 *Rosa laxa*	密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	宽刺蔷薇 *Rosa platyacantha*	樱桃李 *Prunus cerasifera*	准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	药鼠李 *Rhamnus cathartica*	天山樱桃 *Prunus tianshanica*	金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*
小叶忍冬 *Lonicera microphylla*	0.62												
新疆忍冬 *Lonicera tatarica*	0.64	0.58											
弯刺蔷薇 *Rosa beggeriana*	0.64	0.50	0.26										
疏花蔷薇 *Rosa laxa*	0.75	0.50	0.55	0.19									
密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*	0.08	0.19	0.00	0.00	0.00								
宽刺蔷薇 *Rosa platyacantha*	0.39	0.74	0.00	0.67	0.19	0.00							
樱桃李 *Prunus cerasifera*	0.42	0.54	0.18	0.37	0.34	0.55	0.37						
准噶尔栒子 *Cotoneaster soongoricus*	0.74	0.34	0.45	0.08	0.71	0.46	0.00	0.34					
水栒子 *Cotoneaster multiflorus*	0.34	0.59	0.74	0.00	0.27	0.32	0.00	0.17	0.36				
药鼠李 *Rhamnus cathartica*	0.67	0.90	0.66	0.45	0.48	0.00	0.60	0.28	0.35	0.73			
天山樱桃 *Prunus tianshanica*	0.25	0.35	0.09	0.15	0.13	0.91	0.13	0.84	0.46	0.29	0.11		
金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*	0.77	0.65	0.30	0.58	0.62	0.32	0.52	0.86	0.53	0.18	0.51	0.61	
黄刺条 *Caragana frutex*	0.60	0.90	0.27	0.70	0.43	0.23	0.91	0.63	0.26	0.25	0.73	0.41	0.76

表11 4个野果林居群的灌木间总体联结性分析

Tab. 11 Analysis of the overall correlation between shrubs in four wild fruit forest populations

系数	δ_T^2	S_T^2	方差比率(VR)	检验统计量(W)	χ^2临界值($\chi^2_{0.95}9$, $\chi^2_{0.05}9$)	测度结果
交吾托海JWTH	1.11	0.54	0.49	4.40	(3.94,18.31)	不显著负关联
杏花沟XHG	0.94	1.11	1.18	10.66	(3.94,18.31)	不显著正关联
莫乎尔MHE	2.00	1.21	0.61	5.44	(3.94,18.31)	不显著负关联
大西沟DXG	2.27	2.32	1.02	9.20	(3.94,18.31)	不显著正关联

46对，分别占总对数的33.33%、13.33%、36.36%、60.44%；生态位重叠较高($0.5<O_{ik}\leq1$)的种对分别有2对、3对、20对、36对，分别占总对数的13.33%、20.00%、30.30%、39.56%；仅有MHE腺毛蔷薇-水栒子种对生态位完全重叠($O_{ik}=1$)。各个野果林居群灌木物种间存在一定生态位重叠，但重叠指数偏低，种间呈弱竞争。

3.2.3 总体联结性 由表11可知，灌木总体联结性方差比率，JWTH、MHE的$VR<1$，XHG、DXG的$VR>1$，前后两灌木物种间总体分别呈负关联和正关联；灌木关联性的检验统计变量W分别为4.40、10.66、5.44、9.20，均落入$\chi^2_{0.95}9$和$\chi^2_{0.05}9$之间，即VR偏离1不显著，表明灌木物种间彼此相对独立，总体联结较为松散，趋于随机性，居群内灌木稳定性较低，灌木物种间竞争及相互作用不显著。

4 讨 论

在20世纪50和80年代，对新疆野果林整体资源进行了两次较为全面的研究，发现灌木物种13科19属46种[17]。本调查共发现新疆野果林内共有灌木物种18科26属110种，调查整理的物种有所增加，蔷薇科、蔷薇属和栒子属分别是所有科、属中所含种类最多的科、属，是新疆野果林灌木优势科和优势属，与布海丽且姆·阿卜杜热合曼等[25]对天山野果林种子植物的研究结果一致，说明其对当地生态系统和气候的适应能力较强；在所有灌木物种中，野生果树及其近缘种有76种，占总种数的69.09%，是构成我国特殊的温带落叶阔叶林森林生态系统——天山野果林植物群落的重要部分[26]。新疆野果林灌木植物区系，主要以温带分布类型为主，符合其温带落叶阔叶林植被类型和所处地域的温带大陆性气候类型。

重要值是植物群落的一个综合度量单位，通常用来反映植物在群落中的相对重要性、功能地位和生境适应能力[27]。本文对野果林不同居群的灌木重要值研究发现，小檗属(黑果小檗)、忍冬属(小叶忍冬、新疆忍冬)和蔷薇属(弯刺蔷薇、疏花蔷薇)灌木在所调查的野果林居群均有发现，且重要值占比较大，原因是这3个属植物具有喜光、耐阴、耐干旱[28-30]的生物学特性使其适应能力较强，分布范围较广，地位较高。在秦岭皇冠暖温带落叶阔叶林卫矛、披针叶胡秃子等灌木层结构与物种多样性也呈现这种特征[31]。

灌木是森林群落结构和物种组成的重要部分[32]，其多样性水平是反映植物群落的组成、结构、动态演替的重要指标[33]，并可对生态系统的稳定性做出评价[34]。同一野果林居群，不同生境间的灌木多样性指数无显著差异，与乌兰布和-西鄂尔多斯荒漠草原过渡带的骆驼藜、霸王、四合木、沙冬青4种典型灌木群落多样性的研究结果一致[35]，这可能是由于同一居群内较为一致的物种组成和物理环境因子的影响所致。不同野果林居群，纵横分布跨度不同的野果林，其灌木多样性水平存在差异，大西沟的灌木多样性水平最高，与广西大石围天坑群外部植物群落的多样性水平最高的研究结果一致，其分布跨度较大[36]，而杏花沟灌木多样性水平最低，这与喀斯特森林草灌演替阶段的物种多样性最小的研究结果[37]一致，其原因可能是群落构建机制——群落物种多样性的形成及其维持机制的不同所导致的，如杏花沟是以野杏为单一建群种的纯林，而其他3个居群是以新疆野苹果、野杏为主的混交林，大西沟建群种最为丰富，除以上2种外还有樱桃李和准噶尔山楂，居群内的乔木、灌木、草本共生物种间的相互作用，特别是优势种可以对从属种产生强烈的影响，从而在一定程度上改变居群结构和多样性水平[38-39]。在野果林生态系统中，建群种较多的居群，灌木物种多样性与稳定性也较高，对维持生态系统稳定性具有重要作用。因此，制定并实施科学的技术措施，实现野果林乔、灌、草整体的生态系

统多样性水平,增强其自身维持功能,是今后保护工作的重要方向。

生态位宽度来衡量一个物种所能利用资源多样性的尺度指标[40],依其大小可将物种分为生态位泛化种和生态位特化种[41-42]。在新疆野果林生态系统中,存在 B_L 为1和 B_S 为0的生态位特化灌木种,其分布范围较小且密度较为稀疏,利用资源能力有限,生境条件要求较为苛刻,对维持野果林生态系统多样性的作用相对较小,例如交吾托海和杏花沟的疏花蔷薇、莫乎尔和大西沟的密刺蔷薇等,其与三星堆遗址城墙下蛇莓、芦苇等物种生态位特征相似[43];还存在黑果小檗(交吾托海、莫乎尔、大西沟)和小叶忍冬(杏花沟)等生态位泛化种,分布广且较为均匀,可利用的资源较为丰富,具备较强的繁殖能力、资源竞争与环境适应能力,对维持野果林植物多样性的作用较大,这种生态位特征在柴达木盆地东部荒漠驼绒藜和琵琶柴有同样体现[44]。以往的研究结果表明,物种呈生态位宽度越大,则重要值越大的正相关关系[45],但在不同野果林居群内,灌木物种存在重要值与生态位排名不一致的情况,其原因是灌木自身生物学特点、生态习性的差异,导致其分布均匀性较差,在某一分布区域内单一物种分布的重要值较大,而在其他分布区域却鲜有分布或无分布,例如沙棘属于喜阳耐旱型灌木,其在杏花沟林窗和空地生境中的部分样地分布较多,导致其重要值较大、生态位宽度较小,陈聪琳等[46]、钱逸凡等[47]的研究结果也印证了这一观点。

生态位重叠反映不同物种在同一空间维度,对环境资源的利用相似性的重要指标[48],其值变化范围,表征了种间生态相似性与竞争关系。本研究的4个野果林居群,其灌木生态位重叠均值都小于0.5,且生态位重叠在0.5以下的种对占到各居群中的50%以上,表明在新疆野果林灌木层生态分化明显,对环境资源的利用相似性较低,种间竞争较弱。但在居群内部,存在生态位竞争。大西沟野果林居群内灌木物种生态位重叠程度较大,生态特性最为相似,在资源最为匮乏的情况下,存在竞争关系;在莫乎尔野果林居群中,水栒子与腺毛蔷薇生态位完全重叠,说明两物种具有极高的生态相似性,对环境资源利用的差异较小,种间竞争最为激烈。这种生态位重叠特征与槭叶铁线莲群落中的本氏木兰和小叶鼠李[49]表现一致。本研究中所调查的交吾托海的黑果小檗、杏花沟的小叶忍冬、莫乎尔的黑果小檗和弯刺蔷薇、大西沟的黑果小檗和金丝桃叶绣线菊,其生态位宽度较大,由其组成种对的生态位重叠值也较大,再次表明生态位宽度与生态位重叠呈正相关的规律[50]。

通常情况下,处于演替早期或受干扰程度较大的植物群落,其生态位的总体联结性一般处于负联结或无联结状态,随着群落的正向发展,其总体联结性也逐渐趋于较强的正联结,直到演替中后期呈现显著的正联结,受干扰程度较低,稳定性较强[51-52]。不同野果林居群的灌木总体联结性有差异,有的处于正联结发展阶段,灌木演替进程相对较快,稳定性高,而有的处于相反的负联结发展阶段。综合4个野果林居群灌木的总体联结性可知,新疆野果林生态系统灌木整体处于演替前期的不稳定阶段,这与东门屿主要优势木本植物的总体联结性呈现相同规律[53]。不同野果林居群的灌木生态位联结性的差异性和当前灌木整体的演替状态,既与分布区域环境条件的差异有关外,还与野果林长期受到农垦、放牧和旅游等人为活动的扰动密不可分[54]。新疆野果林,是当地农牧旅经济发展的重要依托资源,在当前矛盾无法回避的现状下,制定科学的保护规划和措施,辅助人工促进灌木林更新复壮,平衡人为干扰胁迫与维护生态系统多样性的矛盾,方可建立良好的灌木生态系统,才能长远发挥野果林"金山银山"的作用。

5　结 论

通过野外调查,结合植物多样性和生态位,对野果林灌木层进行了研究,得出如下主要结论:

(1) 新疆野果林内共发现18科26属110种灌木,蔷薇科、蔷薇属是其优势科属;科的分布区类型主要以世界分布、温带分布为主,并带有一定的热带分布关系;属的分布区类型,主要以温带分布为主。

(2) 同一居群野果林的不同生境,灌木多样性整体无显著差异。大西沟野果林居群内的灌木多样性水平最高,组成最丰富,分布最均匀。

(3) 在野果林生态系统中,黑果小檗、小叶忍冬、金丝桃叶绣线菊生态位最宽,分布最广,资源利用和环境适应能力较强;野果林灌木物种的生态位重叠值较小,生态相似性较低,种间呈弱竞争关系

的不显著正联结,处于演替不稳定状态。

参考文献(References):

[1] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993, 1(1): 20–22. [Ma Keping. On the concept of biodiversity[J]. Biodiversity Science, 1993, 1(1): 20–22.]

[2] 马晓勇, 上官铁梁. 太岳山森林群落物种多样性[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 606–612. [Ma Xiaoyong, Shangguan Tieliang. Species diversity of the forest communities in Taiyue Mountain, Shanxi [J]. Mountain Research, 2004, 22(5): 606–612.]

[3] 董雪, 辛智鸣, 段瑞兵, 等. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1009–1017. [Dong Xue, Xin Zhiming, Duan Ruibing, et al. Species diversity of typical shrubs and niches of dominant shrub species in the Ulanbuh Desert[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1009–1017.]

[4] Müller R, Nowicki C, Barthlott W, et al. "Biodiversity and endemism map" as a tool for regional conservation planning-case study of the Pleurothallidinae (Orchidaceae) of the Andean rain forests in Bolivia[J]. Biodiversity & Conservation, 2003, 12: 2005–2024.

[5] 赵阳, 曹家豪, 李波, 等. 洮河自然保护区大峪沟林区紫果云杉群落木本植物种群生态位特征[J]. 生态学报, 2022, 42(5): 1865–1875. [Zhao Yang, Cao Jiahao, Li Bo, et al. Niche of woody plant populations of *Picea purpurea* community in Dayugou forest area, Taohe Nature Reserve, Gansu Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(5): 1865–1875.]

[6] Zhao C, Miao Y, Yu C, et al. Soil microbial community composition and respiration along an experimental precipitation gradient in a semiarid steppe[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 24317.

[7] 陈铭, 黄林娟, 黄贵, 等. 广西大石围天坑群草本植物多样性及其生态位变化规律[J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2831–2844. [Chen Ming, Huang Linjuan, Huang Gui, et al. Diversity and niche characteristics of herbaceous plants in Dashiwei Tiankeng Group, Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2831–2844.]

[8] 于飞, 王洋, 张岗岗, 等. 游荡型黄河滩涂植物群落多样性及种间联结性[J]. 生态学报, 2023, 43(6): 2429–2439. [Yu Fei, Wang Yang, Zhang Ganggang, et al. Plant diversity and interspecific associations of different floodplains in the wandering Yellow River [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(6): 2429–2439.]

[9] 高金辉, 刘运伟, 韩家永, 等. 小兴安岭刺五加群落植物组成及区系分析[J]. 森林工程, 2021, 37(6): 39–46. [Gao Jinhui, Liu Yunwei, Han Jiayong, et al. Plant composition and floristic analysis of *Eleutherococcus senticosus* communities in Xiaoxinganling[J]. Forest Engineering, 2021, 37(6): 39–46.]

[10] 曹晓栋, 杨波, 黄梅, 等. 贵州省宽阔水国家级自然保护区草本植物区系及物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2021, 41(9): 1559–1569. [Cao Xiaodong, Yang Bo, Huang Mei, et al. Flora and species dversity of herbaceous plants in Kuankuoshui National Nature Reserve of Guizhou[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(9): 1559–1569.]

[11] 褚佳瑶, 冯琳骄, 侯毅兴, 等. 新疆野苹果种群受损现状[J]. 经济林研究, 2022, 40(1): 265–273. [Chu Jiayao, Feng Linjiao, Hou Yixing, et al. Analysis on population damage of *Malus sieversii*[J]. Non-wood Forest Research, 2022, 40(1): 265–273.]

[12] 翟朝阳, 邱娟, 司洪章, 等. 微地形对大西沟新疆野杏萌发层土壤因子的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2168–2179. [Zhai Chaoyang, Qiu Juan, Si Hongzhang, et al. Effects of microtopography on germination layer soil factors in *Armeniaca vulgaris* Lam. in Daxigou[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6): 2168–2179.]

[13] 张小燕, 梅闯, 闫鹏, 等 新疆野苹果枝条解剖结构与苹果小吉丁虫抗性的关系[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(3): 540–546. [Zhang Xiaoyan, Mei Chuang, Yan Peng, et al. The relationship between the anatomical structure of *Malus sieversii* branches and the resistance to agrilusmali[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(3): 540–546.]

[14] 李利平, 海鹰, 安尼瓦尔·买买提, 等. 新疆伊犁地区野果林的群落特征及保护[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 60–66. [Li Liping, Hai Ying, Anwar Matti, et al. Community structure and conservation of wild fruit forests in the Ili Valley, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(1): 60–66.]

[15] 王超, 周龙, 彭妮, 等. 天山樱桃花芽形态分化研究[J]. 西北农业学报, 2015, 24(5): 97–101. [Wang Chao, Zhou Long, Peng Ni, et al. Morphological differentiation of flower buds of *Cerasus tianschanica* Pojark[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2015, 24(5): 97–101.]

[16] 李林瑜, 方紫妍, 艾克拜尔·毛拉, 等. 不同天然居群小檗种子萌发障碍因子研究[J]. 植物研究, 2018, 38(6): 894–901. [Li Linyu, Fang Ziyan, Aikebaier Maola, et al. Germination obstacle factors of *Berberis seeds* of different natural populations[J]. Bulletin of Botanical Research, 2018, 38(6): 894–901.]

[17] 林培钧, 崔乃然. 天山野果林资源——伊犁野果林综合研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 76–82. [Lin Peijun, Cui Nairan. Resources of Wild Fruit Forest in Tianshan: A Comprehensive Study on Wild Fruit Forest in Yili[M]. Beijing: China Forestry Press, 2000: 76–82.]

[18] 侯博, 许正. 中国伊犁野生果树及近缘种研究[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 453–458. [Hou Bo, Xu Zheng. Study on wild fruit trees and their kindred species in the Yili Valley China[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(3): 453–458.]

[19] 方紫妍, 李林瑜, 艾克拜尔·毛拉, 等. 新疆西天山土壤生境质量与野果林群落特征的相关性分析[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(4): 453–458. [Fang Ziyan, Li Linyu, Akbar Maola, et al. Correlation analysis of soil habitat quality and community characteristics of wild fruit forest in West Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 48(4): 453–458.]

[20] Watt A S. Pattern and process in the plant community[J]. Journal of Ecology, 1947, 35(1/2): 1–22.

[21] 石荡, 郭传超, 蒋南林, 等. 新疆野杏天然更新幼株的个体特征及空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2023, 47(4): 515-529. [Shi Dang, Guo Chuanchao, Jiang Nanlin, et al. Characteristics and spatial distribution pattern of natural regeneration young plants of *Prunus armeniaca* in Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2023, 47(4): 515-529.]

[22] 吴征镒.《世界种子植物科的分布区类型系统》的修订[J]. 云南植物研究, 2003, 25(5): 535-538. [Wu Zhengyi. The distribution area type system of world seed plant families[J]. Acta Botanica Yunnanica, 2003, 25(5): 535-538.]

[23] 吴征镒, 周浙昆, 孙航, 等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2006: 146-451. [Wu Zhengyi, Zhou Zhekun, Sun Hang, et al. The Areal-types of Seed Plants and Their Origin and Differentiation[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2006: 146-451.]

[24] 王国宏, 方精云, 郭柯, 等.《中国植被志》研编内容与规范[J]. 植物生态学报, 2020, 44(2): 128-178. [Wang Guohong, Fang Jingyun, Guo Ke, et al. Contents and protocols for the classification and description of vegetation formations, alliances and associations of vegetation of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2020, 44(2): 128-178.]

[25] 布海丽且姆·阿卜杜热合曼, 刘会良, 刘娜, 等. 天山野果林种子植物区系分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(4): 828-834. [Buhailiqiemu Apudureheman, Liu Huiliang, Liu Na, et al. Spermatophyte floras in the wild fruit forest in Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2016, 39(4): 828-834.]

[26] 崔大方, 廖文波, 羊海军, 等. 中国伊犁天山野果林区系表征地理成分及区系发生的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 555-560. [Cui Dafang, Liao Wenbo, Yang Haijun, et al. Studies on the floristic composition and genesis of the wild fruit forest in Tianshan Mountainsn China[J]. Forest Research, 2006, 19(5): 555-560.]

[27] 黄睿智, 王奇, 孙婧依, 等. 太白山南北坡栎类林物种组成与群落特征比较[J]. 应用生态学报, 2023, 34(8): 2055-2064. [Huang Ruizhi, Wang Qi, Sun Jingyi, et al. Comparison of species composition and community characteristics of Quercus forests on south and north slopes of Taibai Mountain, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(8): 2055-2064.]

[28] 侯予红. 新疆小檗属植物的识别及生物学特性[J]. 防护林科技, 2018(12): 69, 79. [Hou Yuhong. Identification and biological characteristics of Berberis plants in Xinjiang[J]. Protection Forest Science and Technology, 2018(12): 69, 79.]

[29] 杨星, 史洁婷, 许文超, 等. 黑龙江省高速公路中央分隔带植物选择与配置[J]. 北方园艺, 2015(7): 72-76. [Yang Xing, Shi Jieting, Xu Wenchao, et al. Greening plant selection and configuration for the median dividers of highways in Heilongjiang Province [J]. Northern Horticulture, 2015(7): 72-76.]

[30] 刘英. 西安不同类型城市绿地中园林植物应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. [Liu Ying. Application of Garden Plants in Different Types of Urban Green Space in Xi'an City[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.]

[31] 郭香瑶, 罗颖, 尹秋龙, 等. 秦岭皇冠暖温带落叶阔叶林灌木层结构与物种多样性[J]. 应用生态学报, 2022, 33(8): 2017-2026. [Guo Xiangyao, Luo Ying, Yin Qiulong, et al. Shrub layer structure and species diversity of warm temperate deciduous broad-leaved forests of the Qinling Mountains Huangguan plot in China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(8): 2017-2026.]

[32] 田蕾, 周璐, 孙佳瑞, 等. 山地乔灌木斑块空间分布格局及其多样性沿海拔梯度的变化规律[J]. 生态学报, 2023, 43(24): 10320-10333. [Tian Lei, Zhou Lu, Sun Jiarui, et al. Spatial distribution of tree-shrub patches and their diversity along the altitude gradient in the transition zone between the first and second steps of the northern Hengduan Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(24): 10320-10333.]

[33] 王继丰, 韩大勇, 王建波, 等. 三江平原湿地小叶章群落沿土壤水分梯度物种组成及多样性变化[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3515-3524. [Wang Jifeng, Han Dayong, Wang Jianbo, et al. Variations in plant species composition and diversity of *Calamagrostis angustifolia* community along soil water level gradient in the Sanjiang Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3515-3524.]

[34] 高军, 杨建英, 史常青, 等. 密云水库上游油松人工水源涵养林林下植物多样性与土壤理化特性[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2305-2313. [Gao Jun, Yang Jianying, Shi Changqing, et al. Understory plant diversity and soil physicochemical properties of *Pinus tabuliformis* artificial water conservation forests in the upper reaches of Miyun Reservoir, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(9): 2305-2313.]

[35] 宋兆斌, 罗凤敏, 马媛, 等. 乌兰布和—西鄂尔多斯荒漠草原过渡带典型灌木群落及其多样性[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 65- 72. [Song Zhaobin, Luo Fengmin, Ma Yuan, et al. Typical shrub communities and its diversity in Ulanbuh-western Ordos steppe desert ecotone[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 65-72.]

[36] 黄林娟, 于燕妹, 安小菲, 等. 天坑森林植物群落叶功能性状、物种多样性和功能多样性特征[J]. 生态学报, 2022, 42(24): 10264- 10275. [Huang Linjuan, Yu Yanmei, An Xiaofei, et al. Leaf functional traits, species diversity and functional diversity of plant community in Tiankeng forests[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24): 10264-10275.]

[37] 喻阳华, 钟欣平, 郑维, 等. 喀斯特森林不同演替阶段植物群落物种多样性、功能性状、化学计量及其关联[J]. 生态学报, 2021, 41(6): 2408- 2417. [Yu Yanghua, Zhong Xinping, Zheng Wei, et al. Species diversity, functional traits, stoichiometry and correlation of plant community in different succession stages of Karst forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(6): 2408-2417.]

[38] 杨小平, 王海鸥, 蒋丽丽, 等. 伊犁地区不同新疆野苹果种群的年龄结构分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(12): 4133-4141. [Yang Xiaoping, Wang Hai'ou, Jiang Lili, et al. Age structure

analysis of different *Malus sieversii* population in Yili areas[J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(12): 4133−4141.]

[39] Schöb C, Butterfield B J, Pugnaire F I. Foundation species influence trait-based community assembly[J]. The New Phytologist, 2012, 196(3): 824−834.

[40] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 滇西北云南红豆杉群落物种生态位与种间联结[J]. 植物科学学报, 2012, 30(6): 568−576. [Li Shuaifeng, Liu Wande, Su Jianrong, et al. Niche and interspecific association of species of *Taxus yunnanensis* communities in Northwest Yunnan Province[J]. Plant Science Journal, 2012, 30(6): 568−576.]

[41] Zhang J, Zhang B, Liu Y, et al. Distinct large-scale biogeographic patterns of fungal communities in bulk soil and soybean rhizosphere in China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 644: 791−800.

[42] 黄睿雪, 欧静, 王洪飞, 等. 百里杜鹃国家森林公园植物群落物种多样性及优势种生态位宽度对人为干扰的响应[J]. 生态学杂志, 2024, 43(5): 1217−1226. [Huang Ruixue, Ou Jing, Wang Hongfei, et al. Responses of plant species diversity and niche breadth of dominant species to human disturbance in Baili Rhododendron National Forest Park[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(5): 1217−1226.]

[43] 钟欣艺, 赵凡, 姚雪, 等. 三星堆遗址城墙不同维护措施下草本植物群落组成、生态位及稳定性特征[J]. 应用生态学报, 2023, 34(11): 2938−2946. [Zhong Xinyi, Zhao Fan, Yao Xue, et al. Characteristics of herbaceous planttenance measures at Sanxingdui City community composition, niche and stability under different main Wall, Sichuan, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(11): 2938−2946.]

[44] 牛慧慧, 陈辉, 付阳, 等. 柴达木盆地东部荒漠植物生态位特征[J]. 生态学报, 2019, 39(8): 2862−2871. [Niu Huihui, Chen Hui, Fu Yang, et al. Ecological niche characteristics of desert plants in the eastern Qaidam Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(8): 2862−2871.]

[45] Boulangeat I, Lavergne S, Van Es J, et al. Niche breadth, rarity and ecological characteristics within a regional flora spanning large environmental gradients[J]. Journal of Biogeography, 2012, 39(1): 204−214.

[46] 陈聪琳, 赵常明, 刘明伟, 等. 神农架南坡小叶青冈+曼青冈常绿阔叶林主要木本植物生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2024, 44(11): 4889−4903. [Chen Conglin, Zhao Changming, Liu Mingwei, et al. The ecological niche and interspecifie association of main woody plants in theevergreen broad-leaved forest of *Cyclobalanopsis myrsinifolia*+*C. oxyodon* on thesouth slope of Shennongia[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(11): 4889−4903.]

[47] 钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 561−568. [Qian Yifan, Yi Lita, Hu Junfei, et al. Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(3): 561−568.]

[48] 陈丝露, 赵敏, 李贤伟, 等. 柏木低效林不同改造模式优势草本植物多样性及其生态位[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 143−155. [Chen Silu, Zhao Min, Li Xianwei, et al. Study on plant diversity and niche characteristics of dominant herbaceous populations under different reconstruction patterns in low efficiency stands of *Cupressus funebris*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 143−155.]

[49] 庞久帅, 原阳晨, 周苗苗, 等. 槭叶铁线莲(*Clematis acerifolia* Maxim.)群落物种生态位研究[J]. 生态学报, 2022, 42(8): 3449−3457. [Pang Jiushuai, Yuan Yangchen, Zhou Miaomiao, et al. Species niche of *Clematis acerifolia* Maxim. community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(8): 3449−3457.]

[50] 陈玉凯, 杨琦, 莫燕妮, 等. 海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J]. 植物生态学报, 2014, 38(6): 576−584. [Chen Yukai, Yang Qi, Mo Yanni, et al. A study on the niches of the state's key protected plants in Bawangling, Hainan Island[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(6): 576−584.]

[51] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057−2071. [Liu Runhong, Chen Le, Tu Hongrun, et al. Niche and interspecificassociation of main speciesin shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in Karst hills of Guilin, Southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 2057−2071.]

[52] 涂洪润, 农娟丽, 朱军, 等. 桂林岩溶石山密花树群落主要物种的种间关联及群落稳定性[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3688−3705. [Tu Hongrun, Nong Juanli, Zhu Jun, et al. Interspecifie associations of main species and community stability of *Myrsine seguinii* community in Karst hills of Guilin, southwestern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(9): 3688−3705.]

[53] 张盟, 郑俊鸣, 万佳艺, 等. 福建省东门屿优势木本植物的生态位与种间联结[J]. 森林与环境学报, 2022, 42(1): 11−19. [Zhang Meng, Zheng Junming, Wan Jiayi, et al. Niche and interspecific associations of dominant woody plants in Dongmen Island, Fujian Province[J]. Journal of Forest and Environment, 2022, 42(1): 11−19.]

[54] 蒋南林, 邱娟, 石荡, 等. 基于草本群落、牧道特征对野果林放牧干扰强度的评价[J]. 生态学报, 2024, 44(7): 3060−3071. [Jiang Nanlin, Qiu Juan, Shi Dang, et al. Evaluation of grazing disturbance intensity in wild fruit forests based on herbaceous community and grazing path characteristics[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(7): 3060−3071.]

Study on shrub species diversity and niche of wild fruit forest in Xinjiang

WU Mingjiang[1], QIU Juan[2], ZHENG Feng[1], LING Xiaobo[1], WANG Xinyu[1],
YANG Yang[1], YANG Jiaxin[1], LIU Liqiang[1]
(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. College of Life Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: Shrub is an important part of forest community structure in Xinjiang wild fruit forest and plays an important role in maintaining ecosystem diversity and function. In this article, shrub communities of 4 wild fruit forest populations in JWTH, XHG, MHE and DXG were studied, then the species diversity and ecological niche of shrub were investigated by the means of sample plots (understory, forest gap, open space) and transversal lines (elevation lines between plots and wild fruit forest distribution). The results indicated that: (1) In the wild fruit forest: 110 species belonging to 26 genera and 18 families were found (see Annex 1 in the list), among which Rosaceae, *Rosa* and *Cotoneaster* are the dominant families and genera in the wild fruit forest; the areal-types of its families and genera are mainly distributed in the world and temperate zone; the important value accounts for a large proportion were Berberis (*Berberis atrocarpa*), *Lonicera* (*Lonicera microphylla*, *Lonicera tatarica*) and *Rosa* (*Rosa beggeriana*, *Rosa laxa*). There was no significant difference in shrub diversity coefficient among different habitats of the same wild fruit forest population, and the shrub diversity among populations gradually decreases from DXG, MHE, JWTH to XHG. (2) For the niche width, both B_L and B_S of *B*. *atrocarpa* in JWTH and MHE, *L*. *microphylla* in XHG were the largest, B_L of *B*. *atrocarpa* in DXG had the largest Levins niche width and B_S of *Spiraea hypericifolia* had the largest Shannon-Winner niche width. These species were widely distributed with strong ability of resource utilization and environmental adaptation. Ecological niche overlapped, <0.5 species pairs accounted for more than 50% of the total species pairs in wild fruit forest, and the similarity of environmental resources utilization was low, with weak competition between species. The shrubs of JWTH and MHE showed no significant negative association, while the shrubs of XHG and DXG showed no significant positive association, all of which were in the unstable early stage of succession. Conclusion: Xinjiang wild fruit forest was found with rich shrub species composition, the shrub species composition and diversity of different wild fruit forest populations were significantly different, the shrub population also was in an unstable state in the wild fruit forest ecosystem, which is closely related to the overall function of the wild fruit forest ecosystem.

Keywords: shrub; diversity; flora; ecological niche; wild fruit forests; Xinjiang